

506,318

Rec'd PCT/PTO

01 SEP 2004

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2003 年 9 月 12 日 (12.09.2003)

PCT

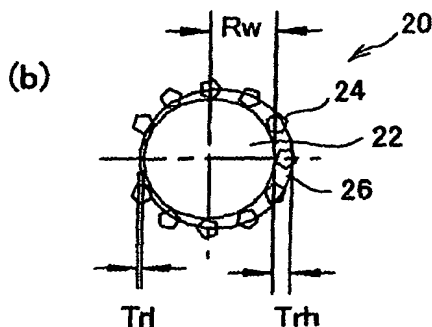
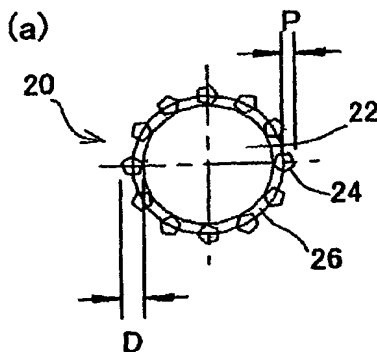
(10) 国際公開番号  
WO 03/074229 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: B24B 27/06 (72) 発明者; および  
(21) 国際出願番号: PCT/JP03/02161 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 近藤 禎彦 (KONDO, Sadahiko) [JP/JP]; 〒665-0815 兵庫県 宝塚市 山本丸橋 1-13-18 Hyogo (JP). 宮地 章 (MIYACHI, Akira) [JP/JP]; 〒569-0001 大阪府 高槻市 淀の原町 63-19 Osaka (JP). 石田 一 (ISHIDA, Hazime) [JP/JP]; 〒569-0001 大阪府 高槻市 淀の原町 29-2 Osaka (JP).  
(22) 国際出願日: 2003 年 2 月 26 日 (26.02.2003)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ: 特願2002-55164 2002 年 3 月 1 日 (01.03.2002) JP (74) 代理人: 奥田 誠司 (OKUDA, Seiji); 〒540-0038 大阪府 大阪市 中央区 内淡路町一丁目 3 番 6 号 片岡ビル 2 階 奥田国際特許事務所 Osaka (JP).  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友特殊金属株式会社 (SUMITOMO SPECIAL METALS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒541-0041 大阪府 大阪市 中央区 北浜四丁目 7 番 1 9 号 Osaka (JP). (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,

[続葉有]

(54) Title: METHOD OF CUTTING RARE EARTH ALLOY

(54) 発明の名称: 希土類合金の切断方法



(57) Abstract: A method of cutting a rare earth alloy with the use of wire saw (20) comprising core wire (22) and, secured thereto by means of resin layer (26), abrasive grains (24). The method includes a step of machining a rare earth alloy by traveling the wire saw while immersing portion of rare earth alloy machined by the wire saw in a cooling liquid whose main component is water exhibiting a surface tension at 25°C of 25 to 60 mN/m. With respect to the wire saw, the average distance of abrasive grains being adjacent to each other in the direction of length thereof is in the range of 150 to less than 400% based on the average diameter of abrasive grains; the average height of abrasive grain portions protruding from the surface of the resin layer is 70% or less based on the average diameter of abrasive grains; and the partial thickness ratio of resin layer based on the core wire is 40% or less.

(57) 要約: 芯線 22 に砥粒 24 を樹脂層 26 によって固着させたワイヤソー 20 を用いる希土類合金の切断方法であって、希土類合金がワイヤソーによって切削される部分を 25°C における表面張力が 25 mN/m ~ 60 mN/m の範囲内にある水を主成分とする冷却液中に浸漬した状態で、ワイヤソーを走行させることによって希土類合金を切削する工程を包含し、ワイヤソーとして、長さ方向において互いに隣接する砥粒間の平均距離が砥粒の平均粒径の 150% 以上 400% 未満の範囲内にあり、砥粒が樹脂層の表面から突き出している部分の平均高さが砥粒の平均粒径の 70% 以下であって、且つ、樹脂層の芯線に対する偏肉率が 40% 以下であるワイヤソーを用いる。

BEST AVAILABLE COPY

WO 03/074229 A1



LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ,  
OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA,  
ZM, ZW.

特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,  
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,  
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許  
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## 希土類合金の切断方法

## 5 技術分野

本発明は、希土類合金の切断方法に関し、特に、芯線に砥粒を固着させたワイヤソーを用いて希土類合金を切断する方法に関する。

## 背景技術

10 希土類合金は、例えば、強力な磁石材料として利用されている。希土類合金を着磁することによって得られる希土類磁石は、例えば、磁気記録装置の磁気ヘッドの位置決めに用いられるボイスコイルモータ用の磁石として好適に用いられている。

希土類合金材料（インゴットや焼結体を含むものとする。）を切断する方法としては、従来から、例えば回転するスライシングブレードを用いて希土類合金材料をスライスする技術が採用されている。しかしながら、スライシングブレードで切断する方法によれば、切断刃の厚さが比較的大きいため、削りしろが多くなり、希土類合金材料の歩留まりが低く、希土類合金製品（例えば希土類磁石）のコ  
15  
20 ストを上昇させる要因となっている。

スライシングブレードよりも削りしろが少ない切断方法として、ワイヤソーを用いた方法がある。例えば、特開平11-198020号公報は、高強度の芯線の周面上に超砥粒をボンド層により固定したワイヤソー（「固定砥粒ワイヤソー」という。）を用いて、シ

リコン、ガラス、ネオジム、フェライト等の硬脆材料を切断できることを開示している。

5 上述のような固定砥粒ワイヤソーを用いて、希土類合金材料から少ない削り代で所定厚さの板を多数枚同時に作製することができれば、希土類磁石の製造コストが大幅に低減される。しかしながら、固定砥粒ワイヤソーを用いて希土類合金を量産レベルで切断したとの報告は未だに無い。

10 本発明者が種々検討した結果から、この主な原因として、希土類合金、特に、焼結法によって製造された希土類合金（以下、「希土類焼結合金」を呼ぶ。）の機械的な性質が、シリコン等と大きく異なることが挙げられる。具体的には、希土類焼結合金は、全体として脆く、且つ、硬い主相（すなわち $R_2Fe_{14}B$ 結晶粒）と、延性的な破壊を起こす粒界相とを有するので、シリコンに代表される硬脆材料と異なり、切削され難い。すなわち、シリコン等の硬脆材料  
15 を切断する場合に比べて、切削抵抗が高く、その結果、発熱量も多い。また、希土類合金の比重は、約7.5とシリコン等の材料に比べて大きく、切削によって生成される切削屑（スラッジ）が切削部から排出され難い。

20 従って、希土類合金を、高い加工精度で、効率良く切削するためには、切削抵抗を十分に低下させるとともに、切削時に発生する熱を効率良く放熱する、すなわち切削部を効率良く冷却する必要がある。また、切削によって生成される切削屑を効率良く排出する必要がある。

そこで、潤滑性に優れた冷却液（「切削液」ともいう。）を希土類合金の切削部に十分に供給することによって、切削抵抗を低下するとともに、切削時に発生する熱を効率良く放散することができる。発明者による実験の結果、油性の冷却液を用いて、ワイヤソーを十分な量の冷却液で濡らしておけば、走行するワイヤソーによって、狭い切削部に冷却液を十分に供給することができる。

しかしながら、油性の冷却液には、環境破壊を起こさないように廃液を処理するためにコストがかかること、および、廃液中の切削屑を分別することが困難であり、廃液や切削屑の再利用が困難であるという問題がある。これらのことを考慮すると、冷却液としては水（または水溶性の冷却液）が好ましいのであるが、水を冷却液として用いると、水は粘度（ $1.0 \text{ mm}^2/\text{s}$ ）が低いので、走行するワイヤソーに十分な量を付着させることができないので、ワイヤソーを水で濡らしても切削部に十分な量の水を供給することができない。

特開平 11-198020 号公報は、冷却液の槽からオーバーフローする冷却液中にワイヤソーを走行させることによって、固定砥粒ワイヤソーを高速（例えば  $2000 \text{ m/min}$ ）で走行させる場合においても、冷却液をワイヤソーに確実に付着させることができることを開示している。しかしながら、本発明者の実験によると、オーバーフローしている水の中にワイヤソー（例えば、特開平 11-198020 号公報に開示されている）を走行させながら希土類合金を切削しても、砥粒の脱落や、樹脂層の剥離、さらにひどい場

合にはワイヤソーの断線が発生する。この不具合は、ワイヤソーの走行速度が例えば800m/min程度でも発生した。

#### 発明の開示

5       本発明は上記の諸点に鑑みてなされたものであり、その主な目的は、ワイヤソー装置で水を主成分とする冷却液を用いて希土類合金を切断する際のワイヤソーの寿命を長くすることにある。

10       本発明による希土類合金の切断方法は、芯線に砥粒を樹脂層によって固着させたワイヤソーを用いる希土類合金の切断方法であって、前記希土類合金が前記ワイヤソーによって切削される部分を25℃における表面張力が25mN/m～60mN/mの範囲内にある水を主成分とする冷却液中に浸漬した状態で、前記ワイヤソーを走行させることによって前記希土類合金を切削する工程を包含し、前記ワイヤソーとして、長さ方向において互いに隣接する前記砥粒間の  
15       平均距離が前記砥粒の平均粒径の150%以上400%未満の範囲内にあり、前記砥粒が前記樹脂層の表面から突き出している部分の平均高さが前記砥粒の平均粒径の70%以下であって、且つ、前記樹脂層の前記芯線に対する偏肉率が40%以下であるワイヤソーを用いることを特徴とし、そのことによって上記目的が達成される。

20       本発明による希土類合金の切断方法に用いられる水を主成分とする冷却液は、表面張力の代わりに動摩擦係数によって特定することもでき、前記希土類合金に対する25℃における動摩擦係数が0.1～0.3の範囲内にある冷却液を用いることを特徴とする。

前記砥粒の平均粒径 $D$ は、 $20\mu m \leq D \leq 60\mu m$ の関係を満足することが好ましい。

前記芯線の直径は $0.15\text{ mm}$ 以上 $0.2\text{ mm}$ 以下の範囲内にあることが好ましい。

- 5        好ましい実施形態において、前記ワイヤソーを走行させる工程は、ワイヤソーを複数のローラの間で走行させる工程であって、前記複数のローラのそれぞれは、案内溝が形成された高分子層を有し、前記案内溝は、少なくとも一方の斜面が前記ローラの半径方向に対して $25^\circ$ 以上 $45^\circ$ 未満の角度を成す一对の斜面を有し、前記ワイヤは前記一对の斜面の間を走行させられる。

10        前記樹脂層は、フェノール樹脂、エポキシ樹脂またはポリイミド樹脂から形成されていることが好ましい。

- 15        好ましい実施形態において、前記希土類合金は、 $R\text{-Fe-B}$ 系希土類焼結合金であり、 $Nd\text{-Fe-B}$ 系希土類焼結合金であってもよい。

#### 図面の簡単な説明

- 20        図1(a)はワイヤソーの砥粒突き出し率の定義を説明するための模式的な断面図であり、図1(b)はワイヤソーの偏肉率の定義を説明するための模式的な断面図である。

図2は、本発明による実施形態の希土類合金の切断方法を実行するために好適に用いられるワイヤソー装置100を示す模式図である。

図3は、図1に示したワイヤソー装置100の切削部近傍の構成を示す模式図である。

図4は、本発明による実施形態の希土類合金の切断方法を実行するために好適に用いられるワイヤソー20の断面構造を模式的に示す図である。

図5(a)および(b)は、本発明による実施形態の希土類合金の切断方法を実行するために好適に用いられるワイヤソー20における砥粒分布を模式的に示すであり、(a)は隣接砥粒間平均距離Lが砥粒の平均粒径の200%、(b)は300%の場合を示している。

図6は、ワイヤソー装置100および200に好適に用いられるローラの断面構造を模式的に示す図である。

図7は、従来のローラの断面構造を模式的に示す図である。

図8は、ローラの案内溝の斜面105の傾斜角とワイヤソー捻れ角との関係を示すグラフである。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明の実施形態による希土類合金の切断方法は、芯線（典型的にはピアノ線）に砥粒（典型的にはダイヤモンド砥粒）を樹脂層によって固着させたワイヤソーを用い、希土類合金がワイヤソーによって切削される部分を25℃における表面張力が25mN/m～60mN/mの範囲内にある水を主成分とする冷却液中に浸漬した状態で、ワイヤソーを走行させることによって希土類合金を切削する工程を包含し、ワイヤソーとして、長さ方向（すなわち、ワイヤソ



一の走行方向)において互いに隣接する砥粒間の平均距離が砥粒の平均粒径の150%以上400%未満の範囲内にあり、砥粒が樹脂層の表面から突き出している部分の平均高さが砥粒の平均粒径の70%以下であって、且つ、樹脂層の芯線に対する偏肉率が40%以下であるワイヤソーを用いる。なお、冷却液として、希土類合金に対する25℃における動摩擦係数が0.1~0.3のものを用いてもよい。

本発明の実施形態による希土類合金の切断方法において、希土類合金を固定砥粒ワイヤソーを用いて切削する工程は、25℃における表面張力が25mN/m~60mN/m(約25dyn/cm~約60dyn/cm)の範囲内にある冷却液に切削部が浸漬された状態で実行されるので、ワイヤソーを効率良く冷却することができる。上記の範囲内の表面張力を有する冷却液は、水に比べて、希土類合金および/またはワイヤソーに対する濡れ性(またはなじみ)が優れるので、切削部(希土類合金とワイヤソーとが互いに接触し、希土類合金が切削される部分。切削溝ともいう。)に冷却液が効率よく浸透するためと考えられる。勿論、水を主成分とする冷却液は、油性冷却液(例えば鉱油)に比べ比熱が高いので、冷却効率が高い。なお、本明細書において、「水を主成分とする冷却液」とは、全体の70重量%以上が水である冷却液をいう。

本発明の希土類合金の切断方法において好適に用いられる冷却液は、上記希土類合金に対する動摩擦係数によって選別することも可能で、25℃における上記動摩擦係数が約0.1~約0.3の範囲内にある冷却液は、上記の範囲内の表面張力を有する冷却液と同等

の作用・効果を発揮し得る。表面張力が切削部に対する冷却液の浸透性を示す指標と考えられるのに対し、動摩擦係数は切削部に対して冷却液が与える潤滑性の指標と考えられる。なお、表面張力と動摩擦係数との間に、定性的な相関関係があることが知られている。

5       冷却液の表面張力は、よく知られているデュヌイ表面張力計を用いて測定される。また、希土類合金に対する冷却液の動的摩擦係数は、日本で基礎的な試験機として多用されている増田式「四球式摩擦試験機」を用いて測定される。本明細書においては、表面張力および動摩擦係数のいずれについても、25℃における値を、冷却液  
10       を特徴付ける値として採用する。

      なお、以下の実施例で示す動摩擦係数は、鉄球を用いて四球式摩擦試験機で求めた値である。実施例で例示するR-Fe-B系希土類合金（RはYを含む希土類元素で、例えば、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B金属間化合物を主相とする合金）は、鉄の含有量が成分元素の中で最も  
15       多いので、鉄球を用いて求めた冷却液の動摩擦係数は、良い近似で、希土類合金に対する動摩擦係数として採用することができる。このことは実験的に確かめた。希土類磁石として好適に用いられる希土類合金の組成および製造方法は、例えば、米国特許第4,770,723号および米国特許第4,792,368号に記載されている。  
20       R-Fe-B系希土類合金の典型的な組成では、RとしてNdまたはPrが主に用いられ、Feは部分的に遷移元素（例えばCo）に部分的に置換されてもよく、BはCによって置換されてもよい。

      また、25℃の表面張力または動摩擦係数を用いて、本発明の切断方法で用いられる冷却液を特定したが、実際に使用する際の冷却

液の温度は、25℃に限られない。但し、本発明の効果を得るためには、15℃～35℃の範囲内に温度制御された冷却液を用いることが好ましく、20℃～30℃の範囲内にあることがさらに好ましく、23℃～28℃の範囲内にあることがさらに好ましい。よく知られているように、冷却液の表面張力や動摩擦係数は温度に依存するので、実際に使用する冷却液の温度が上記の温度範囲からあまり外れると、冷却液の表面張力や動摩擦係数がそれぞれ上記の数値範囲から外れた状態と良く似た状態となり、冷却効率または切削効率が低下する。

上記の冷却液は、界面活性剤や、いわゆる「シンセティック（Synthetic）」と呼ばれる合成潤滑剤を水に添加することによって調製される。種類や添加量を調整することによって、所定の表面張力や動摩擦係数を得ることができる。また、水を主成分とする冷却液を用いると、比較的粘度が低いので、切削によって生成したスラッジから磁石を用いて希土類合金の切削屑を容易に分別することが可能で、冷却液を再利用することができる。また、冷却液の廃棄処理によって自然環境に悪影響を及ぼすことを防止することができる。また、スラッジ中に含まれる炭素の量を減らすことができ、スラッジから回収された切削屑を原料とする磁石の磁気特性を向上することができる。

ワイヤソーを高速で走行させながら切削を行うと、冷却液が発泡し、冷却効率が低下することがある。消泡剤を含む冷却液を用いることによって、冷却液の発泡による冷却効率の低下を抑制することができる。さらに、PHが8～11の範囲内にいる冷却液を用いる

ことによって、希土類合金の腐食を抑制することができる。PHが9以上の冷却液を用いることがさらに好ましい。また、防錆剤を含む冷却液を用いることによって、希土類合金の酸化を抑制することができる。これらは、希土類合金の種類や切断条件等を考慮して、  
5 適宜調整すればよい。

ワイヤソーとしては、ダイヤモンド系砥粒を樹脂層で固着したものが好適に用いられる。すなわち、芯線（典型的にはピアノ線）の外周面にダイヤモンド系砥粒を樹脂を用いて固着したワイヤソーを好適に用いることができる。そのなかでも、樹脂としてフェノール  
10 樹脂、エポキシ樹脂またはポリイミド樹脂を用いることが好ましい。これらの樹脂は、ピアノ線（硬鋼線）の外周面への接着強度が高く、また後述する冷却液に対する濡れ性（浸透性）にも優れる。樹脂には必要に応じてフィラー（例えばSiCやAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）を添加してもよい（例えば、特許第3078020号公報参照）。また、砥粒  
15 を樹脂層で固着したワイヤソーは、電着法を用いて製造されるワイヤソーよりも安価であり、希土類合金の切断にかかるコストを低減することができる。なお、ワイヤソーの芯線は、ピアノ線に限られず、Ni-CrやFe-Ni等の合金、WやMo等の高融点金属から形成されたもの、またはナイロン繊維などの高強度繊維を束ねた  
20 ものから形成されていても良い。また、砥粒の材料はダイヤモンドに限定されず、SiC、B、C、CBN（Cubic Boron Nitride）等であってもよい。

上記の冷却液を用いると、冷却液として水を用いる場合よりも、切削工程におけるワイヤソーの温度の異常上昇を抑制することがで

きるので、砥粒の異常脱粒、樹脂層の剥離やワイヤソーの断線を抑制することができる。本発明の実施形態による希土類合金の切断方法においては、冷却液の選定に加えて、ワイヤソーを限定することによって、さらに長い期間に亘ってワイヤソーを使用することが可能となり、製造コストをさらに低減する。後に実験例を示して説明するように、ワイヤソーとして、長さ方向（走行方向）において互いに隣接する砥粒間の平均距離が砥粒の平均粒径 $D$ の150%以上400%未満の範囲内にあり、砥粒が樹脂層の表面から突き出している部分の平均高さが砥粒の平均粒径 $D$ の70%以下であって、且つ、樹脂層の芯線に対する偏肉率が40%以下であるワイヤソーを用いることによって、異常脱粒、樹脂層の剥離や断線を低減することができる。

後に実験例を示して説明するように、種々検討した結果、上述のように芯線の外周に樹脂層によって固着された砥粒のワイヤソーの長さ方向における密度および砥粒が樹脂層から突き出している部分の平均高さ（突き出し率）を調節するとともに樹脂層の芯線に対する偏肉率を調整することによって、切削屑（スラッジ）の排出性を良好な範囲に保ちつつ、切削時に個々の砥粒に掛かる負荷が均一化される結果、異常脱粒、樹脂層の剥離や断線が低減されるものと推察される。

ここで、図1（a）および（b）を参照しながら、本発明による実施形態の切断方法に用いられるワイヤソーを特徴付ける突き出し率 $P_r$ および偏肉率 $T_d$ の定義を説明する。

図 1 (a) に示すように、ワイヤソー 20 は、芯線 22 の外周面に砥粒 24 が樹脂層 26 によって固着されている。砥粒 24 の平均粒径を  $D$  とし、砥粒 24 が樹脂層 26 から突き出ている部分の高さ（突き出し量）を  $P$  としたとき、突き出し量  $P$  の平均粒径  $D$  に対する割合を突き出し率  $P_r$  (%) とする。すなわち、 $P_r = (P / D) \times 100$  で表される。突き出し率  $P_r$  は、例えば、ワイヤソー 20 の断面の光学顕微鏡写真から求めることができる。

ワイヤソー 20 は、例えば特許第 3078020 号公報に記載されているように、エナメル法と呼ばれる方法などを用いて、砥粒を分散した樹脂（必要に応じて溶剤が混入される）を芯線の外周に塗布することによって製造される。このときに樹脂層の厚さの調整が十分になされないと、図 1 (b) に模式的に示したように、ワイヤソー 20（芯線 22）の直径を含む断面において、樹脂層 26 の厚さが芯線 22 に対して均一でなくなることがある。このような樹脂層 26 の厚さの偏りを定量的に評価するために、偏肉率  $T_d$  (%) を以下のように定義する。

芯線 22 の半径を  $R_w$ 、樹脂層 26 の厚さの最小値を  $T_{r1}$ 、最大値を  $T_{rh}$  として、偏肉率  $T_d$  を  $(T_{rh} - T_{r1}) / \{ (T_{rh} + T_{r1}) / 2 \}$  とする。なお、分母の  $(T_{rh} + T_{r1}) / 2$  は樹脂層 26 の平均厚さとしてもよい。偏肉率  $T_d$  は、芯線 22 の半径  $R_w$ 、樹脂層 26 の厚さの最小値  $T_{r1}$  および最大値  $T_{rh}$  を実測することによって求められる。樹脂層 26 の厚さは、例えば、ワイヤソー 20 の断面の光学顕微鏡写真から求められる。勿論、理想的な樹脂層 26 の偏肉率は 0% である。

また、上述の条件を満足するワイヤソー２０は、例えば特許第３  
０７８０２０号公報に開示されているように、エナメル法による樹  
脂の塗布工程において浮きダイスを用いて樹脂層の厚さを制御する  
ことによって製造される。このようなワイヤソー２０は、上記の仕  
5 様を指定すれば一般のワイヤソーの製造業者（例えば、株式会社ア  
ライドマテリアル）から供給され得る。

切削しろが少ないという利点を得るためには、ワイヤソー２０の  
外径は、０．３mm以下が好ましく、０．２５mm以下であること  
がさらに好ましい。ワイヤソー２０の外径の下限值は十分な強度が  
10 得られるように設定され、且つ、所定の大きさの砥粒を十分な強度  
で固着するために、０．１２mm～０．２０mm、より好ましくは  
０．１５mm～０．２０mm程度の直径の芯線２２が用いられる。

砥粒２４の平均粒径Ｄは、切削効率の観点から、 $20\mu\text{m} \leq D \leq$   
 $60\mu\text{m}$ の関係を満足することが好ましく、 $30\mu\text{m} \leq D \leq 60\mu$   
15  $\text{m}$ の関係を満足することがさらに好ましく、特に、 $40\mu\text{m} \leq D \leq$   
 $60\mu\text{m}$ の関係を満足することが好ましい。

本発明の実施形態によるワイヤソー２０を用いると、良好な切削  
効率が実現でき、且つ、切削屑の排出性にも優れるので、比較的高  
い走行速度（例えば１０００m/min）で切削できるとともに、  
20 従来よりも長期間に亘って使用することができる。また、上記の冷  
却液によって効率良く冷却されるので、良好な加工精度で、長期間  
に亘って安定に希土類合金を切削することができる。水を主成分と  
する冷却液を用いると、油性の冷却液を用いる場合よりも、走行速

度を20～30%程度速く（例えば、1100m/min～1200m/min）設定することによって、切削効率を最適化できる。

本発明の実施形態による切断方法に用いる水を主成分とする冷却液は、粘度が低い（動粘度が約1mm<sup>2</sup>/s）ので、切削屑の排出性が油性の冷却液（一般に動粘度は5mm<sup>2</sup>/s以上）よりも低い。そこで、切削屑の排出性を高めるために、切削工程において、切削部が槽内に収容された冷却液に浸漬された状態に維持され、且つ、冷却液は、槽の底部から槽内に供給されるとともに、槽の開口部から供給されることによって、槽の開口部から溢れ出る状態に維持されることが好ましい。

粘度の低い冷却液中に排出された切削屑は、容易に沈降し、槽の開口部付近に浮遊する切削屑は僅かである。切削部を冷却液中に浸漬した状態で切削するためには、ワイヤソーは槽の開口部付近の冷却液中を走行するように配置されるので、ワイヤソーは切削屑の少ない冷却液中を走行し、切削部には切削屑の少ない冷却液が供給される。特に、槽の開口部からも冷却液を供給し、開口部から溢れる状態に維持することによって、切削部に供給される冷却液中の切削屑の量を低下させることができる。さらに、槽の開口部から供給される冷却液の流れによって、ワイヤソーに付着した切削屑を機械的に洗い流す効果も得られる。冷却液が1分間に溢れ出る量は、槽の容積の50%以上であることが好ましい。また、開口部から供給される冷却液の量は、槽の底部から供給される冷却液の量よりも多いことが好ましい。



さらに、槽の開口部のワイヤソーの走行方向と交差する辺上に、カーテン状の冷却液流（または気流）を形成することによって、冷却液が槽の開口部から溢れ出るのを抑制することによって、溢れ出る冷却液の液面を槽の壁よりも高くすると、より多くの冷却液が切削部の周囲に供給されることになるので、冷却液中の切削屑の量をさらに低下させることができる。冷却液流を形成するための吐出圧は、 $0.2 \text{ MPa}$  ( $2 \text{ kgf/cm}^2$ )  $\sim 1.0 \text{ MPa}$  ( $10 \text{ kgf/cm}^2$ ) の範囲内にあることが好ましく、 $0.4 \text{ MPa}$  ( $4 \text{ kgf/cm}^2$ )  $\sim 0.6 \text{ MPa}$  ( $6 \text{ kgf/cm}^2$ ) の範囲内にあることがさらに好ましい。この範囲よりも吐出圧が低いと十分な効果が得られないことがあり、この範囲よりも高いとワイヤソーがたわみ、加工精度が低下することがある。

また、ワイヤソーを走行させるために設けられるメインローラのうち、槽の両側に配置され、ワイヤソーの走行位置を規制する一対のメインローラにも冷却液を吐出することが好ましい。これらのメインローラに冷却液を吐出することによって、メインローラの表面に設けられている、ワイヤソーを案内するための溝を有する高分子層（例えばウレタンゴム層などの有機高分子層）の温度上昇を抑制するとともに、ワイヤソーまたは案内溝に付着または滞留した切削屑（またはスラッジ）を洗い流すことによって、ワイヤソーの走行位置がずれたり、ワイヤソーが溝から外れたりするのを防止することができる。

また、切削工程で生成された、希土類合金の切削屑を含むスラッジと冷却液とからなるダーティ液を回収し、スラッジのなかから希

土類合金の切削屑を磁石を用いて分別することによって、冷却液を再利用（例えば、循環的に使用）することができる。上述したように、水を主成分とする冷却液は粘度が低いので、切削屑を容易に分別することができる。また、希土類合金の切削屑を分別することによって、冷却液の廃液処理を容易に且つ環境にダメージを与えないように実施することができる。さらに、R－F e－B系合金（RはYを含む希土類元素）から容易に分離できない炭素を少なくするために、切削屑を希土類合金の再生原料として利用することもできる。冷却液は水を主成分とするので、切削屑から再生された希土類合金に含まれる炭素の量を低くすることが容易なので、希土類磁石の材料として用いられる原料を得ることができる。スラッジからの切削屑の分別方法は、例えば、本願出願人が特開2002-36113号に開示した方法を用いることができる。

本発明の実施形態による切断方法を採用すると、希土類合金を高精度で且つ効率良く切断できるので、例えば、磁気ヘッドの位置決め用に使われるボイスコイルモータ用の小さな希土類磁石（例えば、厚さが0.5mm～3.0mm）を高精度で且つ効率良く製造することができる。

以下、図面を参照しながら、本発明による希土類合金の切断方法の実施形態をさらに具体的に説明する。本実施形態では、上述のネオジム磁石の製造に用いられるネオジム磁石焼結体の切断方法を説明する。

ネオジム（N d－F e－B系）焼結磁石を作製する方法を簡単に説明する。なお、磁石材料としての希土類合金を作製する方法は、

例えば、上述の米国特許第 4, 770, 723 号明細書およびに米国特許第 4, 792, 368 号明細書に詳細に開示されている。

まず、原料金属を所定の成分比に正確に秤量した後、真空またはアルゴンガス雰囲気中で高周波溶解炉にて原料金属を溶解する。溶解した原料金属を水冷の鋳型に鋳込み、所定の組成の原料合金を形成する。この原料合金を粉砕し、平均粒径 3~4  $\mu\text{m}$  程度の微粉末を作製する。この微粉末を金型に入れ、磁界中でプレス成形する。このとき必要に応じて微粉末を潤滑剤と混合してからプレス成形を行う。次に、約 1000℃~約 1200℃ 程度の焼結工程を行えばネオジム磁石焼結体を作製することができる。この後、磁石の保磁力を向上させるために約 600℃ での時効処理を実行し、希土類磁石焼結体の作製を完了する。焼結体のサイズは、例えば 30mm×50mm×50mm である。

得られた焼結体の切断加工を行い、焼結体から切断した複数の薄板（基板またはウェハと称される場合がある）を形成する。得られた焼結体の薄板のそれぞれに対して研磨による仕上げ加工を行い、寸法と形状を整えた後、長期的な信頼性を向上させるため、表面処理を施す。この後、着磁工程を実行した後、検査工程を経てネオジム焼結磁石が完成する。なお、着磁工程を切断工程の前に行ってもよい。

次に、本発明の実施形態による切断方法を図 2 から図 5 を参照しながら更に詳細に説明する。

図2は、本発明の実施形態による希土類合金の切断方法を実行するために好適に用いられるワイヤソー装置100を示す概略構成図である。

ワイヤソー装置100は、3本のメインローラ10a、10bおよび10cと、一対のリールポピン40aおよび40bとを有している。冷却液を収容する槽30の下部に設けられているメインローラ10aが駆動ローラで、槽30の両側に設けられているメインローラ10bおよび10cは従動ローラである。ワイヤソー20は、往復走行しながら、例えば、一方のリールポピン40aから他方のリールポピン40bに巻き取られる（いわゆる、往復駆動法）。このとき、リールポピンの40aの巻き取り時間を他方のリールポピン40bの巻き取り時間よりも長くすることによって、ワイヤソー20を往復走行させながら、リールポピン40a側に新しいワイヤソー20を供給することができる。ワイヤソー20の走行速度は、例えば、600m/minから1500m/minの範囲であり、新線を供給する速度は、例えば、1m/min～5m/minの範囲である。

メインローラ10a、10bおよび10cの間には、ワイヤソー20が例えば150列に張設される。ワイヤソー20の走行位置を決めるために、メインローラ10a、10bおよび10cの表面には、ワイヤソー20を案内するための溝（例えば深さ約0.6mm、不図示）を有する高分子層（例えばウレタンゴム層などの有機高分子層）が設けられている。ワイヤソー20の列間の間隔は、この案内溝のピッチによって決められる。案内溝のピッチは、ワークピー

スから切り出すべき板の厚さに応じて設定される。高分子層としては、シリコン系エラストマ等から形成された無機高分子層を用いることもできる。

5 リールポビン40aおよび40bの近傍には、巻き取り位置を調整するためのトラバーサ42aおよび42bがそれぞれ設けられている。リールポビン40aおよび40bからメインローラ10aに至るまでの経路中には、それぞれの側に5つのガイドローラ44と、1つのテンションローラ46とが設けられており、ワイヤソー20を案内するとともに、その張力が調整される。ワイヤソー20の張力  
10 力は、種々の条件（切削長、切断速度、走行速度など）に応じて適宜変更され得るが、例えば20N～40Nの範囲に設定される。

上述したようにして作製された焼結体ワークピース50は、以下の様にして、ワイヤソー装置100にセットされる。

複数のワークピース50は、例えばエポキシ系の接着剤（不図  
15 示）によって相互に固着され、複数のブロックとして組み立てられた状態で、炭素ベースプレート52を間に介して、鉄製のワークプレート54に固定される。ワークプレート54、ワークピース50の各ブロックおよび炭素ベースプレート52も接着剤（不図示）によって互いに固着されている。炭素ベースプレート52は、ワーク  
20 ピース50の切断加工が終了した後、ワークプレート54の下降動作が停止するまでワイヤソー20による切断加工を受け、ワークプレート54を保護するというダミーとして機能する。

本実施形態では、ワイヤソー20の走行方向に沿って計測した各ブロックのサイズが100mm程度になるように各ブロックの大き

さを設計している。本実施形態では上述のようにワークピース50を複数のブロックに分割して配置しているが、ワイヤソー20の走行方向におけるサイズをどの程度の大きさに設定すべきかは、冷却液の表面張力や走行速度によっても変化する。また、各ワークピース50の大きさによって、ひとつのブロックを構成するワークピース50の数や配置も変化する。これらを考慮して、適宜最適なサイズのブロックに分けてワークピース50を配置すればよい。

上述のようにセットされたワークピース50は、モータ58を備える昇降装置によって下降され、走行するワイヤソー20に押し付けられ、切削加工される。ワークピース50の下降速度は、種々の条件に応じて変化し得るが、例えば、 $20\text{ mm/hr} \sim 50\text{ mm/hr}$ の範囲内に設定される。

冷却液タンク60に貯蔵されている冷却液は、吐出ポンプ62によって、配管63を介して圧送される。配管63は、途中で、下部配管64と上部配管66とに分岐されている。下部配管64および上部配管66には、それぞれへの冷却液の流量を調整するためのバルブ63bおよび63aが設けられている。下部配管64は、切削部を浸漬するための槽30の底部に設けられた下部ノズル64aに接続されている。上部配管66は、槽30の開口部から冷却液を供給するための上部ノズル66a、66bおよび66cと、メインローラ10bおよび10cをそれぞれ冷却するために設けられた上部ノズル66dおよび66eとに接続されている。

槽30には、上部ノズル66a、66bおよび66cと下部ノズル64aとから冷却液が供給され、少なくとも切削工程の間は、図

2中に矢印Fで示したように、冷却液が槽30の開口部から溢れ出る状態に維持される。槽30から溢れ出た冷却液は、槽30の下方に設けられた回収用パン70によって回収タンク72に導かれ、蓄積される。回収された冷却液は、例えば図2に示したように、吐出ポンプ74によって循環用配管76を介して、冷却液タンク60に送られる。循環用配管76の途中には、フィルタ78が設けられており、回収された冷却液中の切削屑が分別除去される。回収方法は、これに限られず、磁力を利用して切削屑を分別する機構を設けてもよい（例えば特開2002-36113号参照）。

次に、図3を参照しながら、本発明による切断工程をさらに詳細に説明する。

槽30は、ワイヤソー20の走行方向と交差する側壁の開口部付近に補助壁32を有している。この補助壁32は、プラスチック板（例えばアクリル板）で形成されており、図3中に破線で示した無負荷のワイヤソーの走行位置と近接するように設けられている。切断するためにワークピース50を下降し、ワイヤソー20に接触させるとワイヤソー20はたわみ、図3中に実線で示したように、槽30内の冷却液に切削部が浸漬された状態となる。このとき、ワイヤソー20がたわむに連れて、ワイヤソー20は補助壁32を切削し、スリットを形成する。ワイヤソー20による切削が定常状態になると、たわみ量は一定し、ワイヤソー20は補助壁32に形成されたスリット内を通過しながら、ワークピース50を切削する。従って、補助壁32に形成されたスリットは、ワイヤソー20の走行位置を規制するように機能し、加工精度の安定にも寄与する。

槽 30 は、例えば約 35 L（リットル）の容量を有しており、切削工程中は、下部ノズル 64 a から約 30 L/min の流量で冷却液が供給され、上部ノズル 66 a、66 b および 66 c から約 90 L/min の流量で冷却液が供給され、常に冷却液が開口部から溢れ出る状態に維持される。ワイヤソー 20 に冷却液を供給することだけを考えると、図 2 に示したように、切削中はワイヤソー 20 がたわむので、冷却液を溢れさせる必要は必ずしも無いが、例示するネオジム磁石焼結体では切削屑の排出性を向上するために、上記のような構成を採用することが好ましい。

切削屑の排出性を高めるためには、切削部付近の冷却液内に含まれる切削屑の量を減らすことが有効である。十分な排出性を得るためには、冷却液が 1 分間に溢れ出る量は、槽の容積の 50% 以上であることが好ましい。さらに、新鮮な冷却液は、槽 30 の底部よりも開口部から多く供給することが好ましい。水を主成分とする粘度の低い冷却液を用いているので、冷却液中に排出された切削屑は容易に沈降するので、槽 30 の底部から多くの冷却液を供給すると、沈降した切削屑が切削部近傍に浮遊する原因となるので好ましくない。

また、開口部から供給される新鮮な冷却液が占める割合を多くすることが好ましい。すなわち、槽 30 の開口部からも冷却液を供給し、開口部から溢れる状態に維持することによって、切削部に供給される冷却液中の切削屑の量を低下させることができる。さらに、槽 30 の開口部から供給される冷却液の流れによって、ワイヤソー 20 に付着した切削屑を機械的に洗い流す効果も得られる。



また、上述した補助壁 32 は、ワイヤソー 20 によって形成されたスリット以外の部分は、槽 30 の側壁として機能するので、冷却液の液面 S を高く保つように機能する。さらに、槽 30 の開口部のワイヤソー 20 の走行方向と交差する方向に、ノズル 66b および 66e を用いて、カーテン状の冷却液流を形成し、冷却液が槽 30 の開口部から溢れ出るのを抑制することによって、溢れ出る冷却液の液面 S を槽 30 の補助壁 32 よりも高くなるので、より多くの冷却液が切削部の周囲に供給され、冷却液中の切削屑の量をさらに低下させることができる。冷却液流を形成するための吐出圧は、0.2 MPa (2 kgf/cm<sup>2</sup>) ~ 1.0 MPa (10 kgf/cm<sup>2</sup>) の範囲内にあることが好ましく、0.4 MPa (4 kgf/cm<sup>2</sup>) ~ 0.6 MPa (6 kgf/cm<sup>2</sup>) の範囲内にあることがさらに好ましい。この範囲よりも吐出圧が低いと十分な効果が得られないことがあり、この範囲よりも高いとワイヤソー 20 にぶれが発生し、その結果、加工精度が低下することがある。

また、槽 30 の両側に配置され、ワイヤソー 20 の走行位置を規制する一対のメインローラ 10b および 10c にも冷却液を吐出することが好ましい。これらのメインローラ 10b および 10c に冷却液を吐出することによって、メインローラ 10b および 10c の表面に設けられている、ワイヤソー 20 を案内するための溝を有する高分子層（例えばウレタンゴム層）の温度上昇を抑制するとともに、ワイヤソー 20 または案内溝に付着または滞留した切削屑（またはスラッジ）を洗い流すことができるので、ワイヤソー 20 の走

行位置がずれたり、ワイヤソー２０が溝から外れたりするのを防止することができる。

水を主成分とする冷却液に添加される界面活性剤としては、アニオン系として、脂肪酸石鹸やナフテン酸石鹸等の脂肪酸誘導体、又は長鎖アルコール硫酸エステルや動植物油の硫酸化油等の硫酸エステル型、又は石油スルホン酸塩等のスルホン酸型、非イオン系として、ポリオキシエチレンアルキルフェニルエーテルやポリオキシエチレンモノ脂肪酸エステル等のポリオキシエチレン系、ソルビタンモノ脂肪酸エステル等の多価アルコール系、又は脂肪酸ジエタノールアミド等のアルキロールアミド系を用いることができる。具体的には、ケミカルソリューションタイプのＪＰ－０４９７Ｎ（カストロール社製）を水に２重量％程度添加することによって、表面張力および動摩擦係数を所定の範囲内に調整することができる。

また、シンセティックタイプ合成潤滑剤としては、シンセティック・ソリューションタイプ、シンセティック・エマルジョンタイプおよびシンセティックソリュブルタイプを用いることができ、そのなかでも、シンセティック・ソリューションタイプが好ましく、具体的には、シнтаイロ９９５４（カストロール社製）や、＃８３０および＃８７０（ユシロ化学工業社製）を挙げることができる。いずれも、水に２重量％～１０重量％程度添加することによって、表面張力（または動摩擦係数）を好適な範囲内に調整することができる。

また、錆止め剤を含有させることで、希土類合金の腐食を防止することができる。特に、Ｒ－Ｆｅ－Ｂ系希土類合金を切断する際に

は、PHを8～11とすることが好ましく、PHは9以上であることがさらに好ましい。錆止め剤としては、有機系として、オレイン酸塩や安息香酸塩等のカルボン酸塩、又はトリエタノールアミン等のアミン類、無機系として、りん酸塩、ホウ酸塩、モリブデン酸塩、  
5 タングステン酸塩、又は炭酸塩を用いることができる。

また、非鉄金属防食剤としては、例えばベンズトリアゾール等の窒素化合物を、防腐剤としては、ヘキサハイドロトリアジン等のホルムアルデヒド供与体を用いることができる。

また消泡剤としては、シリコーンエマルジョンを用いることができる。  
10 消泡剤を含有させることで、冷却液の泡立ちを少なくし、冷却液の浸透性をよくし、冷却効果を高め、ワイヤソー20の温度の異常上昇や異常摩耗が起こりにくくなる。

図4と図5(a)および(b)を参照しながら、本実施形態で好適に用いられるワイヤソー20の構造を説明する。なお、図4では、  
15 ワイヤソー20の一点鎖線で示した中央線から下半分は簡略化している。

ワイヤソー20としては、芯線(ピアノ線)22の外周面にダイヤモンド砥粒24を樹脂層26で固着したものが好適に用いられる。そのなかでも、樹脂としてフェノール樹脂、エポキシ樹脂またはポリイミド樹脂を用いることが好ましい。これらの樹脂は、ピアノ線  
20 (硬鋼線)22の外周面への接着強度が高く、また上述した冷却液に対する濡れ性(浸透性)にも優れる。

好適なワイヤソー20の具体例としては、直径が約0.18mmのピアノ線22の外周に平均粒径が約40 $\mu$ mのダイヤモンド砥粒

をフェノール樹脂層 26 で固着した外径が約 0.24 mm のワイヤソー 20 が挙げられる。切削効率と切削屑（スラッジ）の排出効率の観点から、ワイヤソー 20 の長さ方向（軸方向：図 4 中の一点破線に平行な方向）における、互いに隣接する砥粒 24 間の平均距離は、砥粒の平均粒径  $D$  の 150% 以上 400% 未満の範囲内にあるものが好ましい。

例えば、図 5 (a) および (b) に示したように、ワイヤソー 20 の長さ方向の隣接砥粒間の平均距離  $L$  が砥粒の平均粒径  $D$  の 200% や 300% の場合には、個々の砥粒 24 に掛かる負荷が低減され、その結果、砥粒 24 の異常脱粒や樹脂層 26 の剥離、ひいては断線の発生が低減される。すなわち、隣接砥粒間の平均距離  $L$  が 400% 以上になると、砥粒 24 の分布密度が疎になりすぎる結果、切削工程において個々の砥粒 24 に掛かる負荷が大きくなりすぎ、異常脱粒を起こしてしまう。一方、隣接砥粒間の平均距離  $L$  が 150% を下回ると、砥粒 24 の分布密度が疎になりすぎる結果、後述するチップポケットの容量が十分でなく、切削屑の排出性が低下し、その結果、切削効率が低下する。

なお、図 5 (a) および (b) は、ワイヤソー 20 の外周面（長さ約 1.6 mm）を平面に引き伸ばして、砥粒 24 が均一に分布した例を模式的に示したが、実際には、砥粒 24 が不均一に分布する。しかしながら、隣接砥粒間の平均距離  $L$  の違いによる砥粒の分布密度に対する半定量的な影響はこれらの図から理解される。実際のワイヤソー 20 における隣接砥粒間の平均距離  $L$  は、例えば、光学顕微鏡写真から求めることができる。

さらに、ワイヤソー20における砥粒22の突き出し率は、70%以下であることが好ましい。突き出し率が70%を超えると、砥粒22に掛かる負荷を樹脂層26によって十分に支持できないため、異常脱粒や樹脂層の剥離が発生しやすくなる。また、切削屑の排出性の観点からは、砥粒の突き出し率は40%を超えることが好ましい。突き出し率が40%以下であると、砥粒22間に形成される空間（チップポケット）28の容積が十分でないため切削屑の排出性が低下し、その結果、切削効率が低下することがある。チップポケット28の大きさは、上述した隣接砥粒間距離にも依存していることは言うまでも無い。

さらに、本実施形態の切断方法では、樹脂層26の偏肉率が40%以下のワイヤソー20を用いる。偏肉率が40%を超えると、砥粒24を固着している樹脂層26に掛かる負荷が不均一となり、そのワイヤソー20を用いて切断を行なうと、樹脂層26の局所的な強度が不足する結果、砥粒24の異常脱粒や樹脂層26の剥離が発生しやすくなる。

以下に、実験例を示して、ワイヤソー20の平均隣接間距離L、砥粒の突き出し率および偏肉率と、樹脂層26の剥離や断線、および切断面の面精度（うねり）との関係を説明する。

以下の実験例では、ネオジム磁石焼結体のブロック（走行方向長さ40mm、横方向長さ50mm、厚さ30mm）を図2に示したワイヤソー装置100を用いて、上述の方法でブロックの横方向の辺を分断するように切断した。冷却液としては、ユシロ化学工業社製のWS-250Bを水（水道水）に添加することによって、表面

張力を34.6 mN/m、動摩擦係数を0.13に調節したものを  
用いた。ワイヤソー20の走行速度は、1100 m/分、切断速度  
(厚さ方向)は40 mm/時間とした。

ワイヤソー20の芯線(ピアノ線)22の直径は0.18 mm、  
砥粒(ダイヤモンド砥粒)24の平均粒径は42  $\mu$ mとした。樹脂  
としては、フェノール樹脂を用い、樹脂層26の平均厚さ(理想的  
な厚さ)が20  $\mu$ mのものを用了。ワイヤソー20の平均隣接間  
距離L、砥粒の突き出し率および偏肉率は、光学顕微鏡写真から求  
めた。なお、偏肉率は、長さ500 mm間隔で約10箇所の断面に  
ついて測定した結果を用いた。樹脂層26の剥がれは、ネオジム磁  
石焼結体のブロックを4時間加工した後のワイヤソー20の外観を  
目視で観察することによって評価した。例えば、ワイヤソー20の  
長さが200 mの場合、長さが5 mm以上の剥がれが累積で10 m  
以上あれば剥がれ発生とし、剥がれの長さの累積が10 m以上60  
m以下を「少量発生」とし、60 m超の場合を「全面発生」とした。  
また、「少量発生」のうち、隣接する剥がれ箇所の間隔が20 m以  
上の場合を「断続発生」とした。また、切断面の面精度を接触式の  
粗さ計を用いて測定し、約25 mmの幅内の最大うねりを代表値と  
して用いて評価した。

まず、ワイヤソー20の長さ方向の隣接砥粒間平均距離Lの影響  
を調べた結果を表1に示す。

表1から明らかなように、隣接砥粒間平均距離Lが砥粒の平均粒  
径の150%以上400%未満の範囲では樹脂層26の剥がれは発  
生せず、また、切断面の面精度も約8  $\mu$ m未満で良好であった。そ

れに対し、隣接砥粒間平均距離 $L$ が平均粒径の150%未満では切削効率が低く、40mm/時間の切断速度を実現することは難しかった。また、隣接砥粒間平均距離 $L$ が平均粒径の400%以上になると樹脂層26の剥がれが発生し、600%以上になるとワイヤソー20の全面に亘って樹脂層26が剥離し、断線するものもあった。

また、隣接砥粒間平均距離 $L$ が平均粒径の400%以上になると、切断面の面精度が8 $\mu$ m以上の大きな値となった。これらのことから、ワイヤソー20の隣接砥粒間平均距離 $L$ は砥粒の平均粒径の150%以上400%未満の範囲内に設定することによって、ワイヤソー20の寿命を長くできるとともに、十分な切断面の面精度が得られることが分かる。

〔表 1〕

|                               |     |      |     |     |     |          |          |          |     |
|-------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|----------|----------|----------|-----|
| 砥粒<br>平均粒径 $D$<br>( $\mu$ m)  | 42  | 42   | 42  | 42  | 42  | 42       | 42       | 42       | 42  |
| 砥粒間<br>平均距離 $L$<br>( $\mu$ m) | 63  | 71.4 | 84  | 105 | 126 | 168      | 210      | 252      | 294 |
| ( $L/D$ )<br>$\times 100$ (%) | 150 | 170  | 200 | 250 | 300 | 400      | 500      | 600      | 700 |
| 切断面精度<br>( $\mu$ m)           | 4.2 | 3.5  | 3.5 | 3.2 | 4.2 | 8        | 10       | 12       | —   |
| 樹脂層の<br>剥離                    | なし  | なし   | なし  | なし  | なし  | 少量<br>発生 | 断続<br>発生 | 全面<br>発生 | 断線  |

次に、砥粒24の突き出し率の影響を調べた結果を表2に示す。

表2から分かるように、突き出し率が71%以上のワイヤソー20を用いると、樹脂層26の剥がれが発生し始め、突き出し率が8

3%を超えるワイヤソー20を用いると断線が発生した。また、突き出し率が71%以上のワイヤソー20を用いると、切断面の面精度(うねり)が10 $\mu$ m以上となった。突き出し率が60%以下のワイヤソー20を用いると、切断面の面精度を8 $\mu$ m以下に抑制することができるので更に好ましい。但し、突き出し率が40%以下のワイヤソーを用いると、樹脂層の剥がれは発生せず、且つ、十分な切断面の面精度が得られる反面、切削効率が低下することがある。従って、突き出し率は40%以上であることが好ましい。

[表2]

|                           |     |     |     |     |     |    |          |          |     |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----------|----------|-----|
| 平均<br>砥粒径<br>( $\mu$ m)   | 42  | 42  | 42  | 42  | 42  | 42 | 42       | 42       | 42  |
| 砥粒<br>突き出し量<br>( $\mu$ m) | 0   | 5   | 10  | 15  | 20  | 25 | 30       | 35       | 35超 |
| 砥粒<br>突き出し率<br>(%)        | 0   | 12  | 24  | 36  | 48  | 60 | 71       | 83       | 83超 |
| 切断面精度<br>( $\mu$ m)       | 5.4 | 3.5 | 3.5 | 3.2 | 4.2 | 8  | 10       | 12       | -   |
| 樹脂層の<br>剥離                | なし  | なし  | なし  | なし  | なし  | なし | 断続<br>発生 | 全面<br>発生 | 断線  |

次に、樹脂層26の偏肉率の影響を調べた結果を表3に示す。

表3から明らかなように、偏肉率が50%以上のワイヤソー20を用いると樹脂層26の剥がれが発生し、偏肉率が100%以上のワイヤソー20を用いると断線が発生した。これに対し偏肉率が40%以下のワイヤソー20を用いると樹脂層26の剥がれは発生せ



ず、且つ、切断面の面精度が  $4\text{ }\mu\text{m}$  以下の小さな値となった。偏肉率は  $30\%$  以下であることがさらに好ましいが、 $40\%$  以下でも十分量産に使用できる。

なお、ワイヤソー 20 の樹脂層 26 の剥がれや断線の発生は、ローラ間を走行させられるワイヤソー 20 の張力にも依存する。上述の結果は、ワイヤソー 20 の張力を  $30\text{ N}$  とした場合の結果であり、ワイヤソーの張力が  $25\text{ N}$  以上  $35\text{ N}$  以下である場合にほぼ同様の結果を得ることができる。

〔表 3〕

|                                  |     |    |    |          |          |     |
|----------------------------------|-----|----|----|----------|----------|-----|
| 平均粒径 D<br>( $\mu\text{m}$ )      | 42  | 42 | 42 | 42       | 42       | 42  |
| 樹脂層の理想厚さ<br>( $\mu\text{m}$ )    | 20  | 20 | 20 | 20       | 20       | 20  |
| 樹脂層の厚さの<br>最小値 ( $\mu\text{m}$ ) | 20  | 17 | 16 | 15       | 10       | 5   |
| 樹脂層の厚さの最<br>小値 ( $\mu\text{m}$ ) | 20  | 23 | 24 | 25       | 30       | 35  |
| 芯線半径 ( $\mu\text{m}$ )           | 90  | 90 | 90 | 90       | 90       | 90  |
| 扁肉率 (%)                          | 0   | 30 | 40 | 50       | 100      | 150 |
| 切断面精度<br>( $\mu\text{m}$ )       | 3.5 | 4  | 4  | 6        | 12       | -   |
| 樹脂層の剥離                           | なし  | なし | なし | 少量<br>発生 | 全面<br>発生 | 断線  |

次に、上述のワイヤソーを用いたワイヤソー装置 100 のメインローラ 10a、10b および 10c の好ましい構造を説明する。

水を主成分とする冷却液を用いると、油性の冷却液を用いた場合よりもワイヤソーの断線率が増加（すなわち、より短い時間で断線）するとともに、加工精度が低下するという問題が発生する。本

発明者が種々検討した結果、図 7 に模式的に示すように、ローラ 10a、10b および 10c の高分子層 10P に形成された案内溝 10G の断面形状を、案内溝 10G が有する一对の斜面 10S がローラ 10a の半径方向 10R に対して 25° 以上 45° 未満の角度  
5 (以下、「傾斜角 ( $\alpha$ )」という。) を成す構成を採用することによって、ワイヤソー 20 の断線の発生をさらに抑制するとともに、十分な加工精度を得ることができることがわかった。傾斜角は、30° 以上 35° 以下であることがさらに好ましい。

なお、例示したように、案内溝 10G が有する一对の斜面 10S  
10 の両方がローラ 10a の半径方向 10R に対して上記の範囲の傾斜角を有することが好ましいが、一对の斜面 10S の内の少なくとも一方が上記の範囲の傾斜角を有していれば、断線の発生を抑制する効果および十分な加工精度を得ることができる。

従来は、例えば図 7 に示すように、案内溝 10G の斜面 10S が  
15 ローラの半径方向 10R に対して 45° 以上の傾斜角を成す構造を採用していた。これは、案内溝 10G から効率よくスラッジを十分に排出させるためであり、特に、希土類合金は脆性的な破壊を起こす主相と延性的な破壊を起こす粒界相とを有するために切削抵抗が高く、且つ、比重が大きいのでスラッジの排出性が悪いため、スラ  
20 ッジの排出性を高めるために、傾斜角を 45° 超としていた。

しかしながら、本発明者が検討した結果、斜面 10S の傾斜角を 45° よりも大きくすると、断線発生率はそれほど低下せず、むしろ、加工精度が低下するという問題が発生することがわかった。以下に、図 8 を参照しながら、この現象を説明する。ワイヤソー 20

は、図 2 を参照しながら説明したように、ローラ 10a、10b および 10c の間に互いに平行な複数の走行線の列を形成するように多条に掛けられる。走行線の列を形成するワイヤソー 20 の位置は、ローラ 10a、10b および 10c のそれぞれの高分子層 10P に形成された案内溝 10G によって規定されるので、ある走行線から隣の走行線に移る際に、ワイヤソー 20 は案内溝 10G に斜めに掛けられる。この斜めに掛けられたワイヤソー 20 が案内溝 10G の斜面 10S から捻回力を受ける。また、ワイヤソー 20 が斜めになるほどより大きな捻回力を受けることになる。

図 8 は、ローラの案内溝の斜面 10S の傾斜角とワイヤソーの捻れ角との関係を示すグラフである。捻れ角  $\Omega$  は、ワイヤソー 20 がロールから受ける捻回力に比例し、捻れ角  $\Omega = 360^\circ$  のときワイヤソーが一回捻回されていることを示す。なお、図 8 に示した結果は、以下で説明する構成についての力学的なモデル計算から求めた。なお、斜面 10S の傾斜角は、両側の斜面で等しいとした。結果を示している。

450mm の間隔（スパン）で配置した一対のローラ（図 1 のローラ 10b と 10d）直径 170mm）の間に、ワイヤソー 20 を張力 30N（3kgf）で 200 条配設する。新線供給量は 2m/分で、120 秒サイクルで往復走行させる。このとき、ワイヤソー 20 は、約 190 回往復走行された後、ローラから脱出することになる。

ここで、種々実験した結果、1 スパン（450mm）の間でワイヤソーが 5 回（ $\Omega = 1800^\circ$ ）捻回する力を受けると、ワイヤソ

ー 20 が 200 条分走行する間に、約 500 回捻回した。すなわち、  
200 条  $\times$  5 回 = 1000 回分捻回する力を受けたとき、その約 5  
0 % 分が実際の捻回として蓄積された。そこで、図 8 における縦軸  
の捻れ角  $\Omega$  は、力学的なモデル計算から求められる捻回力に対応す  
る捻れ角に 0.5 を乗じた値を示している。また、静的な捻れ破断  
5 強度試験から、ワイヤソー 20 に実際に蓄積される捻れ角が 180  
0° (5 回捻回) となったときに、10 % の確率でワイヤソーが破  
断すると見積もった。

図 8 からわかるように、捻回力 (捻れ角) は、溝 10 G の傾斜角  
10  $\alpha$  が大きくなるにつれて単調に減少する。単純に捻回力のみよるワ  
イヤソー 20 の破断を考えると、ワイヤソー 20 が細い場合 (直径  
 $d = 0.19 \text{ mm}$ ) には傾斜角を 10° 以上、太い場合 (直径が 0.  
25 mm) でも傾斜角を 25° 以上とすれば、ワイヤソー 20 の破  
断を抑制できることになる。

15 しかしながら、実験によると、いずれのワイヤソー 20 を用いた  
場合も、傾斜角が 45° 以上になると、断線発生率があまり低下し  
なかった。また、傾斜角が 45° 以上になると加工精度が低下する  
という問題が発生した。

20 これは、傾斜角が大きくなると、案内溝 10 G の幅 10 W (図 6  
参照) が大きくなり、ワイヤソー 20 が案内溝 10 G 内で振れたり、  
更には、隣接する案内溝 10 G に飛び移ったりするため、ワイヤソ  
ー 20 に掛かる張力や捻回力が不均一となり、局所的に大きな応力  
が発生する結果、ワイヤソー 20 の断線が発生するものと考えられ  
る。また、ワイヤソー 20 が案内溝 10 G 内を安定に走行しない結

果、加工精度が低下するものと考えられる。なお、実験には、高分子層 10P としてウレタンゴム層を用い、冷却液としてはユシロ化学工業社製 #830 の約 10% 水溶液を用いた。また、上記の実験例と同じ希土類焼結磁石のワークピースを切断した。

5        上述の結果から、案内溝 10G の斜面 10S の傾斜角は、 $25^{\circ}$  以上  $45^{\circ}$  未満であることが好ましい。なお、ワイヤソー 20 の断線をなるべく抑制するためには、捻回力が低下するように、傾斜角を  $30^{\circ}$  以上とすることが好ましく、高い加工精度を得るためには傾斜角を  $35^{\circ}$  以下とすることが好ましい。また、なお、案内溝 10G の底部 10B は、ワイヤソー 20 の半径よりもやや小さめの曲率半径に加工しておくことが好ましい。

10        上述したワイヤソー装置 100 を用いると、上述の実施形態のワイヤソー 20 を用いることによる効果と相まって、ワイヤソー 20 の寿命を更に長くすることができる。特に、ローラ間距離が短い場合のように、比較的大きな捻回力が発生する場合に、本実施形態の効果が大きい。

15        ワイヤソー装置 100 を例示して本発明の実施形態を説明したが、本発明はこれに限られず、単一のリールポピンを用いるエンドレス型のワイヤソー装置（例えば特開平 11-198018 号公報参照）に適用することができる。

#### 産業上の利用可能性

20        本発明によると、ワイヤソー装置で水を主成分とする冷却液を用いて希土類合金を切断する際のワイヤソーの寿命を長くすることが

可能になる。従って、水を主成分とする環境にやさしい冷却液を用いて、例えば、ボイスコイルモータに用いられる希土類焼結磁石用の希土類焼結合金を効率良く切断することが可能となる。すなわち、希土類焼結磁石の製造コストを低減することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 芯線に砥粒を樹脂層によって固着させたワイヤソーを用いる希土類合金の切断方法であって、

5 前記希土類合金が前記ワイヤソーによって切削される部分を25℃における表面張力が25mN/m～60mN/mの範囲内にある水を主成分とする冷却液中に浸漬した状態で、前記ワイヤソーを走行させることによって前記希土類合金を切削する工程を包含し、

10 前記ワイヤソーとして、長さ方向において互いに隣接する前記砥粒間の平均距離が前記砥粒の平均粒径の150%以上400%未満の範囲内にあり、前記砥粒が前記樹脂層の表面から突き出している部分の平均高さが前記砥粒の平均粒径の70%以下であって、且つ、前記樹脂層の前記芯線に対する偏肉率が40%以下であるワイヤソーを用いる、希土類合金の切断方法。

15

2. 芯線に砥粒を樹脂層によって固着させたワイヤソーを用いる希土類合金の切断方法であって、

20 前記希土類合金が前記ワイヤソーによって切削される部分を前記希土類合金に対する25℃における動摩擦係数が0.1～0.3の範囲内にある水を主成分とする冷却液中に浸漬した状態で、前記ワイヤソーを走行させることによって前記希土類合金を切削する工程を包含し、

前記ワイヤソーとして、長さ方向において互いに隣接する前記砥粒間の平均距離が前記砥粒の平均粒径の150%以上400%未満

の範囲内にあり、前記砥粒が前記樹脂層の表面から突き出している部分の平均高さが前記砥粒の平均粒径の70%以下であって、且つ、前記樹脂層の前記芯線に対する偏肉率が40%以下であるワイヤソーを用いる、希土類合金の切断方法。

5

3. 前記砥粒の平均粒径Dは、 $20\mu\text{m} \leq D \leq 60\mu\text{m}$ の関係を満足する、請求項1または2に記載の希土類合金の切断方法。

10

4. 前記芯線の直径は0.12mm以上0.2mm以下の範囲内にある、請求項1から3のいずれかに記載の希土類合金の切断方法。

15

5. 前記樹脂層は、フェノール樹脂、エポキシ樹脂またはポリイミド樹脂から形成されている、請求項1から4のいずれかに記載の希土類合金の切断方法。

20

6. 前記ワイヤソーを走行させる工程は、ワイヤソーを複数のローラの間で走行させる工程であって、

前記複数のローラのそれぞれは、案内溝が形成された高分子層を有し、前記案内溝は、少なくとも一方の斜面が前記ローラの半径方向に対して $25^\circ$ 以上 $45^\circ$ 未満の角度を成す一对の斜面を有し、前記ワイヤは前記一对の斜面の間を走行させられる、請求項1から5のいずれかに記載の希土類合金の切断方法。



7. 前記希土類合金は、R－F e－B系希土類焼結合金である  
請求項1から6のいずれかに記載の希土類合金の切断方法。

5 8. 前記希土類合金は、N d－F e－B系希土類焼結合金である  
請求項7に記載の希土類合金の切断方法。

図 1

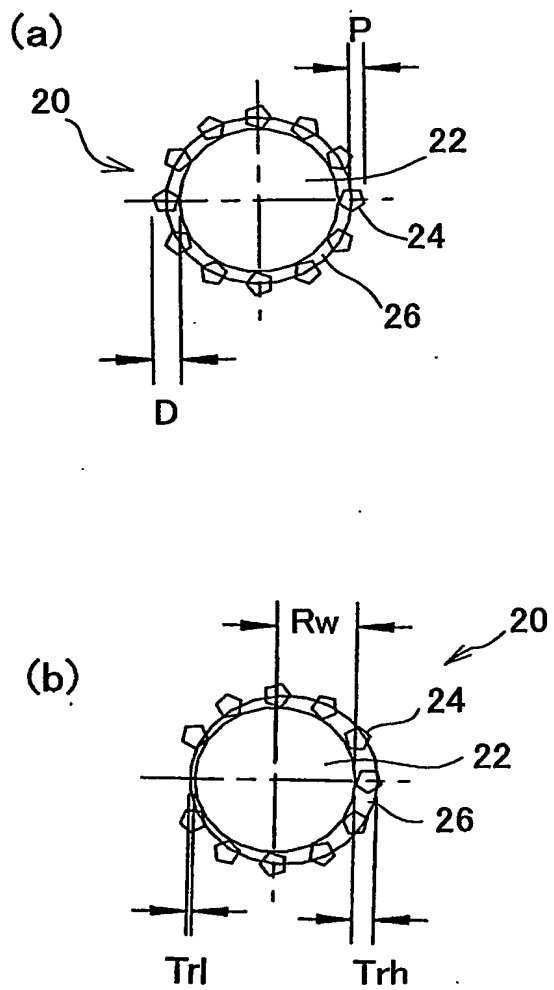


図2

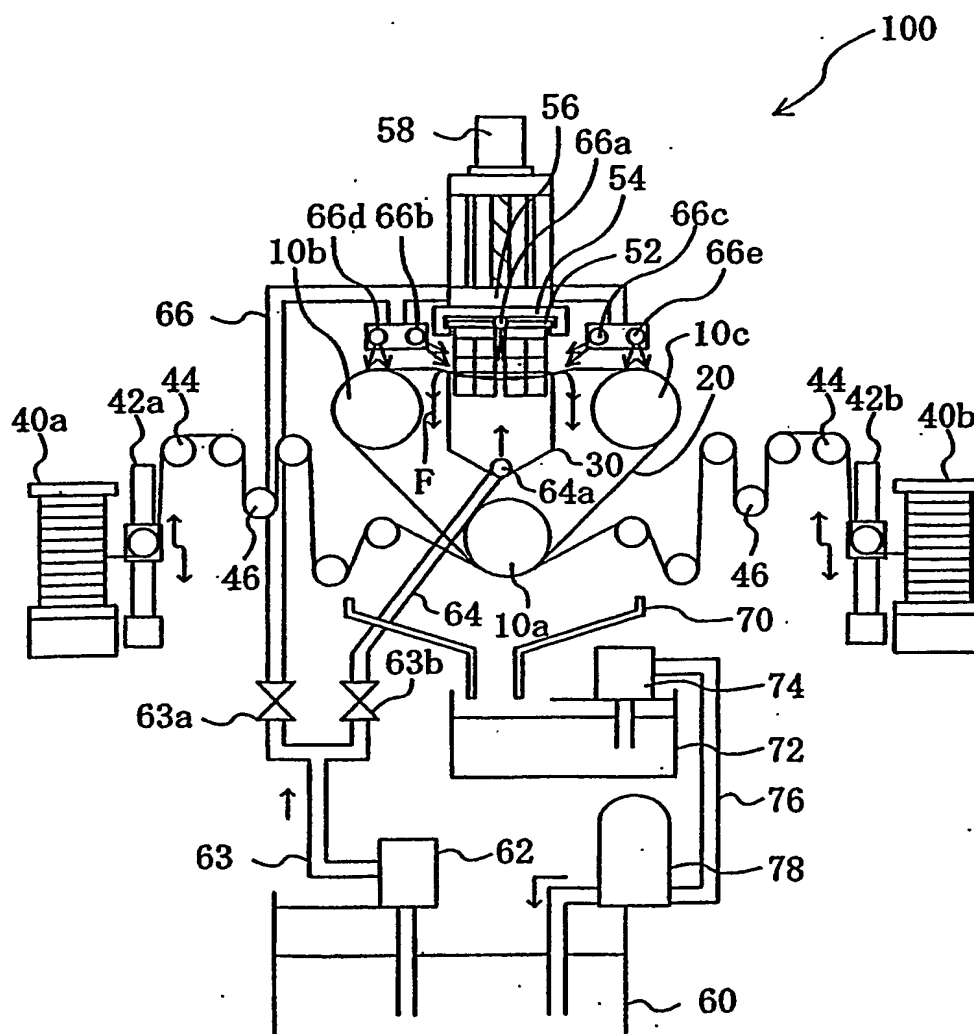


图 3

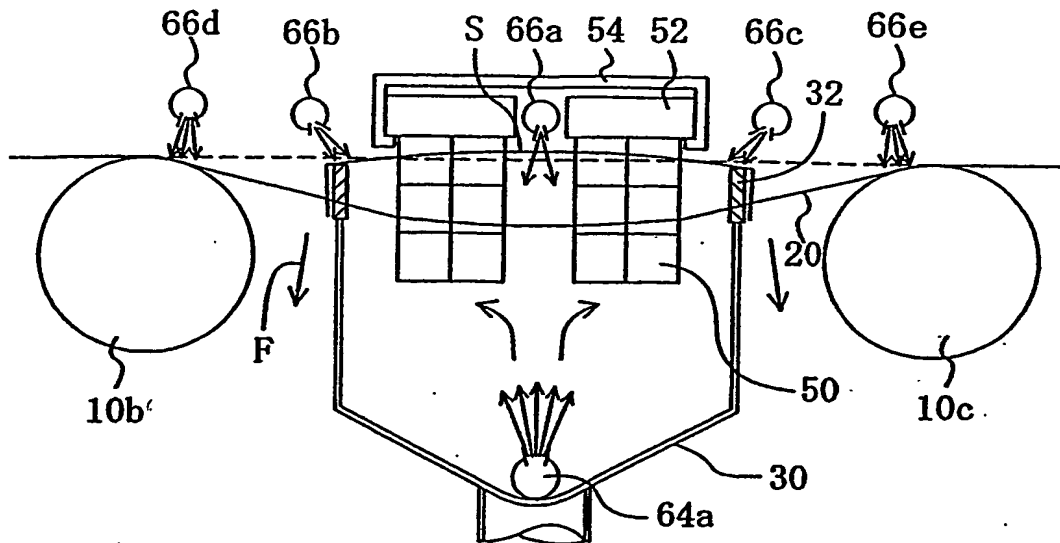


图4.

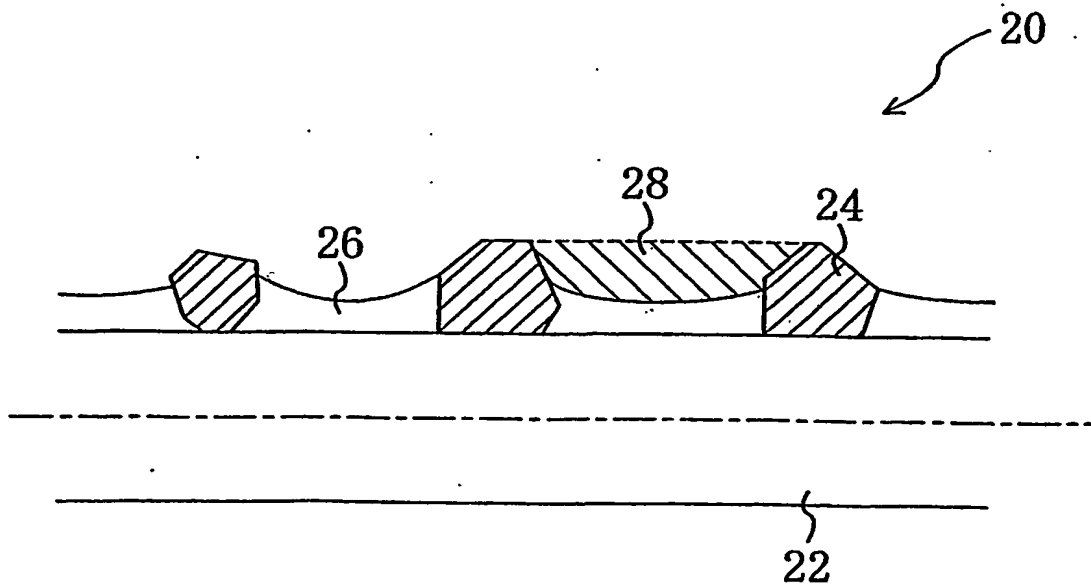


図5

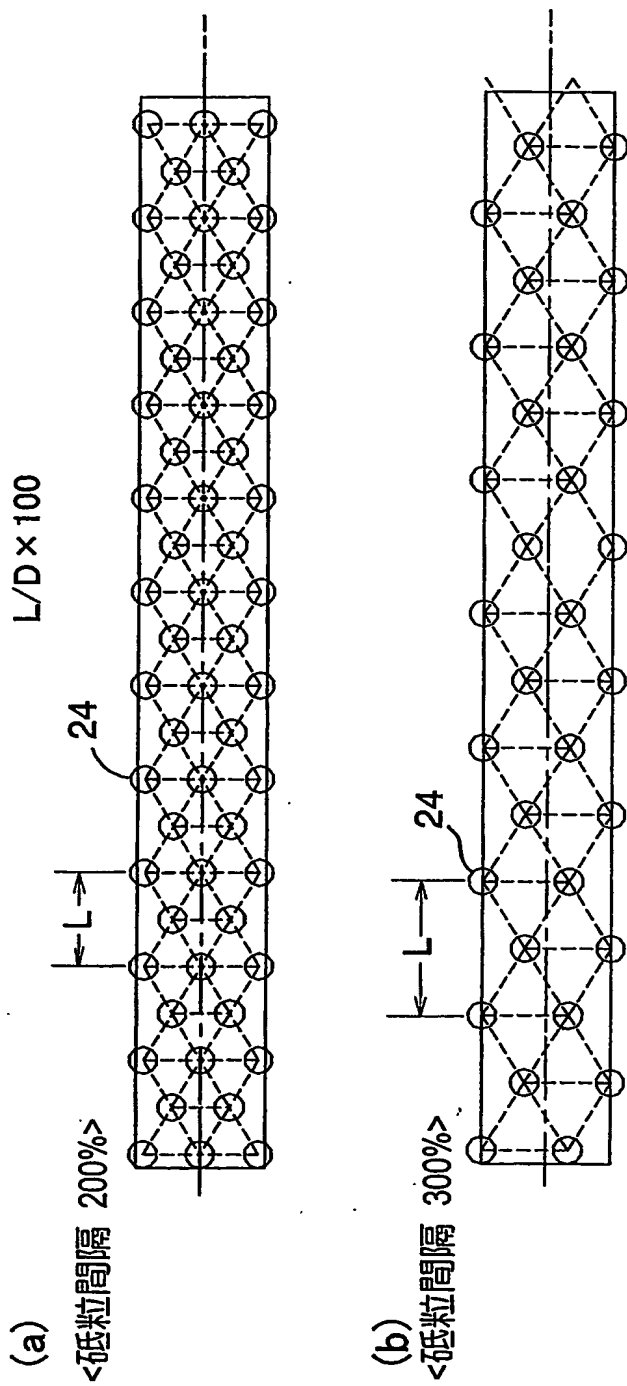


図6

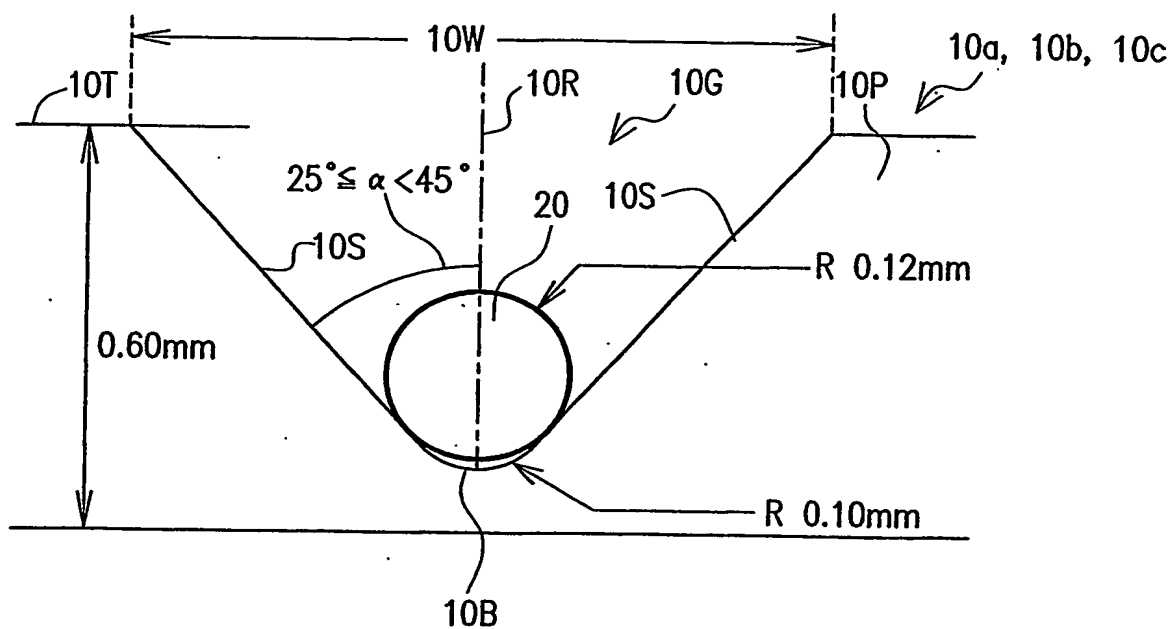


図7

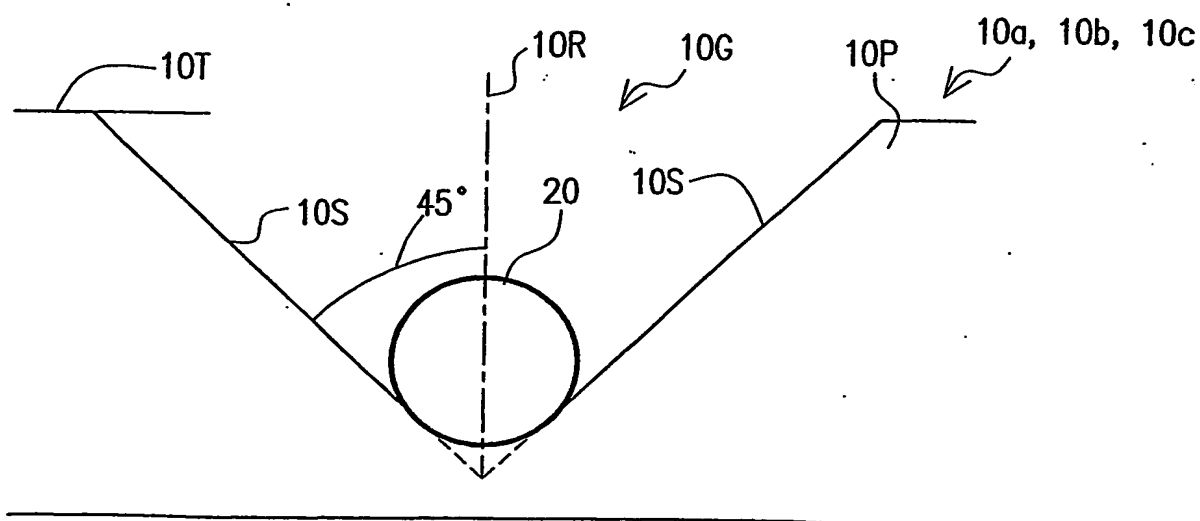
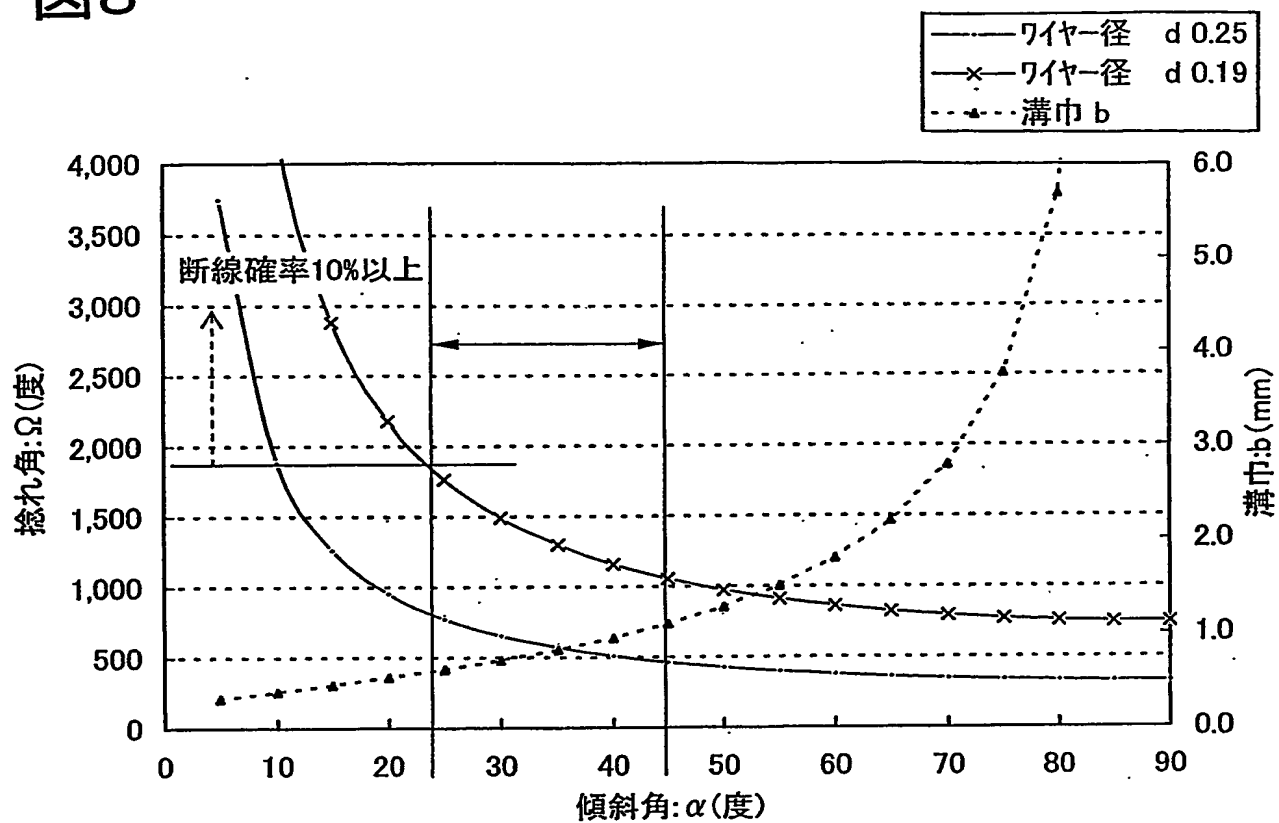


図8



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/02161

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
Int.Cl.<sup>7</sup> B24B27/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl.<sup>7</sup> B24B27/06, B24B55/02, B28D1/22

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1926-1996 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2003 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2003 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2003 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| Y         | JP 2002-36113 A (Sumitomo Special Metals Co., Ltd.),<br>05 February, 2002 (05.02.02),<br>Claims; Fig. 3C<br>(Family: none)         | 1-8                   |
| Y         | JP 2001-47363 A (Sumitomo Special Metals Co., Ltd.),<br>20 February, 2001 (20.02.01),<br>Claims; Par. No. [0015]<br>(Family: none) | 1-8                   |
| Y         | JP 2001-164240 A (Kabushiki Kaisha Ishii Hyoki),<br>19 June, 2001 (19.06.01),<br>Par. No. [0001]; table 1<br>(Family: none)        | 1-8                   |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
30 May, 2003 (30.05.03)

Date of mailing of the international search report  
10 June, 2003 (10.06.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/02161

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| Y         | JP 8-57847 A (Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.),<br>05 March, 1996 (05.03.96),<br>Par. No. [0001]; tables 1 to 3<br>(Family: none)                   | 1-8                   |
| Y         | JP 9-290361 A (Chichibu Onoda Cement Corp.),<br>11 November, 1997 (11.11.97),<br>Figs. 3, 7<br>(Family: none)                                    | 6                     |
| E, X      | JP 2003-80449 A (Sumitomo Special Metals Co.,<br>Ltd.),<br>18 March, 2003 (18.03.03),<br>Claims; Par. No. [0036]; Figs. 1 to 3<br>(Family: none) | 1-8                   |

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. CL<sup>7</sup> B24B27/06

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. CL<sup>7</sup> B24B27/06, B24B55/02, B28D1/22

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示  | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
|-----------------|--|------------------|
| Y               | J P 2002-36113 A (住友特殊金属株式会社)<br>2002.02.05, 特許請求の範囲, 及び図3C, (ファミリーなし)         | 1-8              |
| Y               | J P 2001-47363 A (住友特殊金属株式会社)<br>2001.02.20, 特許請求の範囲, 及び段落【0015】,<br>(ファミリーなし) | 1-8              |
| Y               | J P 2001-164240 A (株式会社石井表記)<br>2001.06.19, 段落【0001】, 及び表1, (ファミリーなし)          | 1-8              |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30.05.03

国際調査報告の発送日

10.06.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

和田 雄二



3C

8612

電話番号 03-3581-1101 内線 3324

## C (続き). 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示  | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
|-----------------|--|------------------|
|                 | ーなし)   |                  |
| Y               | JP 8-57847 A (信越半導体株式会社)<br>1996. 03. 05, 段落【0001】, 及び表1-3, (ファミリーなし)                  | 1-8              |
| Y               | JP 9-290361 A (秩父小野田株式会社)<br>1997. 11. 11, 図3, 及び図7, (ファミリーなし)                         | 6                |
| EX              | JP 2003-80449 A (住友特殊金属株式会社)<br>2003. 03. 18, 特許請求の範囲, 段落【0036】, 及び<br>図1-3, (ファミリーなし) | 1-8              |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**